

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 195 37 257 A 1

⑯ Int. Cl. 6:
G 01 B 5/20
G 01 B 5/28
G 01 P 3/00
G 01 M 17/06
B 60 G 17/00
B 60 K 31/00
// G01C 21/04

⑯ Aktenzeichen: 195 37 257.3
⑯ Anmeldetag: 6. 10. 95
⑯ Offenlegungstag: 18. 4. 96

DE 195 37 257 A 1

⑯ Innere Priorität: ⑯ ⑯ ⑯

14.10.94 DE 44 36 755.4

⑯ Anmelder:

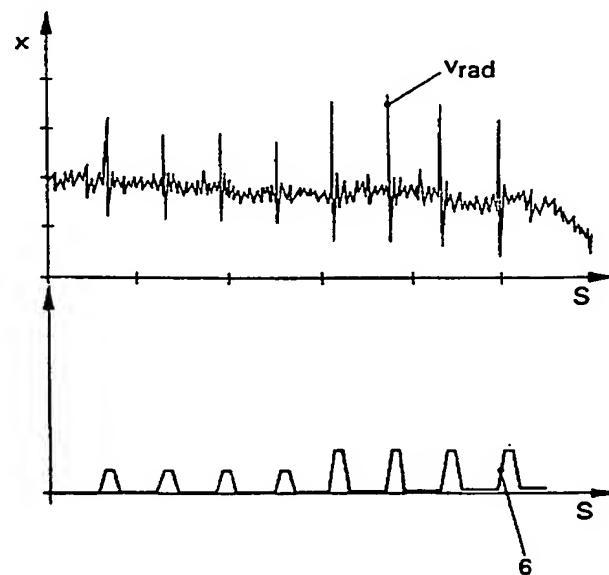
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

⑯ Erfinder:

Hamberger, Werner, Dipl.-Ing., 38444 Wolfsburg,
DE; Osenroth, Matthias, Dipl.-Ing., 29378 Wittingen,
DE

⑯ Verfahren zur Ermittlung des physikalischen Profils einer Fahrbahnoberfläche

⑯ Zur Ermittlung des physikalischen Profils einer Fahrbahnoberfläche während der Bewegung eines Kraftfahrzeugs, das mit mindestens einem Radsensor zur Erfassung von Radbewegungsparametern ausgestattet ist, werden erfindungsgemäß die Amplitudenschwankungen der Radbewegungsparameter, insbesondere der Radumdrehungsgeschwindigkeit (v_{rad}), als Maß für das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) ausgewertet. Das einen im Fahrzeug für die Antiblockierregelung vorhandenen Sensor nutzende Verfahren liefert eine konkrete Aussage über das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6), die in Echtzeit für eine Geschwindigkeitsregelung oder eine Fahrwerksadaptation oder für die Vorausschau in einem Navigationsgerät verwendet werden kann (Figur 3).



DE 195 37 257 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 02.96 802 016/500

6/31

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des physikalischen Profils einer Fahrbahnoberfläche, bei dem mindestens einem Rad des Kraftfahrzeugs ein Radsensor zur Erfassung der Radumdrehungsgeschwindigkeit zugeordnet ist.

Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren zum Bestimmen der Rauigkeit bzw. dem Oberflächenprofil einer befahrenen Straße bekannt. So wird in der europäischen Patentanmeldung EP 556 070 A2 ein linearer Wegsensor zwischen einem Rad und dem Fahrzeugaufbau zur Messung der Relativbewegung beider Massen zueinander angeordnet. Die Frequenzanalyse des Sensorausgangssignals ergibt über einen Vergleich mit gespeicherten Werten verschiedener Straßenoberflächentypen eine Aussage über den Zustand der befahrenen Strecke. Bei diesem Verfahren hat durch die Anordnung des verwendeten Sensors die Bewegung der relativ großen Aufbaumasse und damit ihr Trägheitsmoment einen Einfluß auf das Meßergebnis, was zu Fehleinschätzungen führen kann.

Ein Verfahren zur frühzeitigen Erfassung von unerwartet auftretenden gefährlichen Fahrbahnverhältnissen, wie Aquaplaning, überfrierende Nässe oder Glatt-eis, ist in der Deutschen Patentschrift DE 43 29 745 C1 beschrieben, bei dem der Kraftschluß zwischen Fahrbahn und Reifen der angetriebenen Räder fortlaufend überwacht wird, indem der Radschlupf sowie die gleichzeitige Radumfangskraft der überwachten Räder während stationärer und quasistationärer Fahrbetriebszustände in stetiger Folge ermittelt wird und die Radumfangskraft/Radschlupf-Wertepaare gespeichert werden. Wenn eine vorgegebene Anzahl solcher Wertepaare mit unterschiedlich großen Radumfangskraftwerten abgespeichert ist, wird eine im Radumfangskraft/Radschlupf-Kennlinienfeld jeweils mittelnd durch diese Wertepaare verlaufende Regressionskurve erzeugt und mit einer abgespeicherten Grenzkurve verglichen. Ein Warnsignal wird ausgelöst, wenn die Steigung der Regressionskurve kleiner oder gleich der Steigung der abgespeicherten Grenzkurve ist. Die Grenzkurve ist dabei in Abhängigkeit einer erfaßten Fahrbahnbeschaffenheit veränderbar. Die Information über die Ebenheit oder die Unebenheit der Fahrbahn wird aus den sinusförmigen Rohsignalen der Raddrehzahlsensoren gewonnen, indem diese einer geeigneten Frequenzanalyse, beispielsweise einer Fourier-Analyse zugeführt, und über eine Tiefpaßanordnung zur Eliminierung von auftretenden Sensortoleranzen geführt werden. Das beschriebene, für die Ermittlung des Straßenprofils vorgesehene Verfahren ist einerseits nur sehr aufwendig realisierbar und andererseits kann das auf einer Frequenzanalyse der Radumdrehungsfrequenz basierende Verfahren nur hochfrequente Straßenanregungen erkennen. Außerdem ist eine Zuordnung der auftretenden Frequenzen zu einem bestimmten Fahrbahnprofil nur sehr schwer möglich, da neben den Frequenzen, die aus den Fahrbahnunebenheiten resultieren, auch Eigenfrequenzen des Systems selbst, die beispielsweise durch Toleranzen in der Fahrwerkabstimmung auftreten, enthalten sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Verfahren anzugeben, das mit bereits vorhandener Sensorik im Kraftfahrzeug die Möglichkeit eröffnet, eine konkrete Aussage über das physikalische Profil einer Fahrbahnoberfläche während der Bewegung des Kraftfahrzeugs zu erhalten.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentan-

spruchs gelöst, vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen dargestellt.

Erfindungsgemäß werden die Amplitudenschwankungen der über mindestens einen Raddrehzahlsensor, wie sie bei Antiblockierregelgeräten Verwendung finden, ermittelten Radbewegungsparameter, insbesondere der Radumdrehungsgeschwindigkeiten als Maß für das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche ausgewertet. Dazu werden vorzugsweise die Radumdrehungsgeschwindigkeiten der nicht angetriebenen Räder verwendet, da bei den angetriebenen Rädern der Einfluß des Antriebsmomentes eliminiert werden muß. Eine andere Möglichkeit sieht vor, die Differenz der Radumdrehungsgeschwindigkeiten zwischen der Vorder- und der Hinterachse mindestens einer Fahrzeugseite auszutragen, wodurch mit einem niederfrequenteren Abtastverfahren bei der Messung der Radumdrehungsgeschwindigkeit gearbeitet werden kann.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung wird die ermittelte Radumdrehungsgeschwindigkeit einer Hochpaßfilterung unterzogen, um eine größere Signalstärke der Radumdrehungsgeschwindigkeitsschwankungen aufgrund der auftretenden Fahrbahnunebenheiten zu erreichen und die Signalantelle, die durch einen externen Eingriff zu Geschwindigkeitsänderungen führen, eliminieren zu können. Aus dem gefilterten Frequenzsignal wird darauffolgend der statistische Varianzverlauf als Maß für das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche ermittelt.

Vorteilhafterweise werden die einzelnen Varianzen des Varianzverlaufes mit einem fahrgeschwindigkeitsabhängigen Kennfeld zur Bestimmung des physikalischen Profils der Fahrbahnoberfläche verglichen, wobei nach einer Weiterbildung der Wertebereich, den die Varianzen annehmen können, in ein Fahrbahnprofil bestimmende Klassen eingeteilt wird. Diese Klassen können für eine zukünftige Nutzung abgespeichert und einem übergeordneten Navigationssystem neben anderen Straßenattributen, wie der Straßenkrümmung oder -neigung, übergeben werden und bei einer wiederholten Fahrt derselben Strecke für eine Vorausschau auf den Fahrbahnzustand genutzt werden. Der Fahrer erhält damit die Möglichkeit, aufgrund der ihm vorliegenden Kenntnis der Fahrbahngüte entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Die Anzeige des Fahrbahnprofils für den Fahrzeugführer könnte außerdem auch während der laufenden Erfassung erfolgen.

Eine weitere mögliche Anwendung der Information des Fahrbahnprofils ist eine automatische Geschwindigkeitsregelung, der abhängig davon eine adaptive Sollgeschwindigkeit vorgegeben wird. Aufgrund der Kenntnis über das Fahrbahnprofil kann auch eine Fahrwerksadaption vorgenommen werden.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher beschrieben. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine Anordnung eines Radsensors an einem Rad der Hinterachse,

Fig. 2 der Verlauf der Radumdrehungsgeschwindigkeit beim Durchfahren eines Schlaglochs,

Fig. 3 der Verlauf der Radumdrehungsgeschwindigkeit beim Oberfahren mehrerer Schlagleisten

Fig. 4 der Verlauf des hochpaßgefilterten Radgeschwindigkeitsverlaufes, aufgrund einer überfahrenen Schlagleiste,

Fig. 5 ein Varianzverlauf in Abhängigkeit einer hochpaßgefilterten Radumdrehungsgeschwindigkeit und

Fig. 6 eine Geschwindigkeitsabhängige Kennfeld.

Als Radsensoren 2 werden im Ausführungsbeispiel induktive Meßwertaufnehmer 4 verwendet, welche auf einer Radachse 1 festmontiert sind. Die Lage des induktiven Meßwertaufnehmers 4 an der Vorderachse eines Kraftfahrzeuges ist in Fig. 1 gezeigt. Er besteht aus einer Spule mit einem innen liegenden Magnetkern. Auf Seiten des Rades 3 befindet sich ein Korbrad 4 mit einer Anzahl von Metallzähnen, welche sich bei der Drehung des Rades 3 an dem induktiven Meßwertaufnehmer 4 vorbei bewegt. Dabei wird durch den sich ändernden magnetischen Fluß in der Spule des Meßwertaufnehmers 4 eine Spannung induziert, die sich mit der Radumdrehungsgeschwindigkeit v_{rad} ändert. Der Verlauf der Radumdrehungsgeschwindigkeit bei einem Schlagloch 5 in der Fahrbahn 6 ist in Fig. 2 dargestellt, die umliegende Fahrbahn 6 weist eine ebene und glatte Oberfläche auf. Der Geschwindigkeitsverlauf v_{rad} zeigt beim Durchfahren des Schlagloches hochfrequente Schwingungen mit einer hohen Amplitude.

Ein Verlauf der Radumdrehungsgeschwindigkeit v_{rad} beim Überfahren von mehreren Schlagleisten 7a, 7b auf der Fahrbahn 6 zeigt Fig. 3, wobei jeweils 4 Schlagleisten hintereinander angeordnet sind. Die Radumdrehungsgeschwindigkeit v_{rad} zeigt beim Überfahren der höheren Schlagleisten 7b eine deutlich höhere Amplitude.

Um eine größere Signalstärke der Radumdrehungsgeschwindigkeitsschwankungen aufgrund von Fahrbahnunebenheiten zu erreichen, wird das Sensorsignal hochpaßgefiltert. Des weiteren sollen die Signalantelle, die durch einen externen Eingriff zu Geschwindigkeitsänderungen führen, herausgefiltert werden. Ein externer Eingriff erfolgt beispielsweise durch den Fahrer, der ggf. das Fahrzeug beschleunigt oder abbremst. Der Fall beim Ansprechen der Antiblockierregelung (ABS) wird nicht berücksichtigt, da in diesem Fall durch die erzwungenen Drehschwingungen des Rades eine Bestimmung des physikalischen Profils der Fahrbahnoberfläche fehlerhaft wäre. Ohnehin tritt dieser Fall nur recht selten auf. Die Hochpaßfilterung erfolgt nach einem sehr einfachen Algorithmus. Dabei wird zuerst der Mittelwert über die drei zuletzt gemessenen Werte gebildet. Dieser Mittelwert wird dann von dem einen Abtastschritt zurückliegenden Wert subtrahiert. Der Vorteil eines solchen Filters besteht darin, daß es ein nichtrekursiver Filter mit endlicher Impulsantwort ist. Aus diesem Grund wirken sich kurzzeitige starke Störungen auch nur über den kurzen Zeitraum der Zeitverschiebungen des Filters aus und klingen nicht wie bei einem rekursiven Filter über lange Zeit ab. In dem Signalverlauf der hochpaßgefilterten Radumdrehungsgeschwindigkeit v_{filt} lassen sich die Geschwindigkeitsschwankungen, welche durch Fahrbahnunebenheiten hervorgerufen werden, sehr leicht ablesen. So ist beim Überfahren einer einzelnen Schlagleiste ein hoher Ausschlag des hochpaßgefilterten Geschwindigkeitssignals v_{filt} aufgrund einer Schlagleiste 7 erkennbar (Fig. 4).

Im Ausführungsbeispiel werden die Radumdrehungsgeschwindigkeitsschwankungen statistisch über eine Varianzermittlung ausgewertet. Der Varianzverlauf σ^2 wird aus der Differenz des quadratischen Mittelwertes und dem Mittelwert der Quadrate der einzelnen Meßdaten ermittelt. Sie stellt den quadratischen Mittelwert des Wechselanteils der Amplitude x dar und ist ein quadratisches Maß für die Streuung der Amplitude x um ihren Mittelwert \bar{x} . Ein spezifischer Varianzverlauf σ^2 in Abhängigkeit eines hochpaßgefilterten Radumdrehungsgeschwindigkeitsverlaufes v_{filt} ist in Fig. 5 darge-

stellt.

Für die Auswertung der Varianzen σ^2 wird der Wertebereich, den die ermittelten Varianzen annehmen können in Profilklassen k eingeteilt. Im Ausführungsbeispiel wurden 10 Profilklassen k0–k9 gewählt. Diese Klasseneinteilung wird so vorgenommen, daß die einzelnen Klassengrenzen in logarithmischer Darstellung der Varianz σ^2 über der linearen Skalierung der Fahrgeschwindigkeit v eine Gerade ergeben. Das sich ergebende Kennfeld ist in Fig. 6 abgebildet. Unterhalb der ersten Linie befindet sich die Klasse k0 und darüberliegend dann die weiteren Klassen bis zur Klasse k9, die sich oberhalb der letzten Linie befindet. Um die Profilklassen wird jeweils ein Hysteresebereich angelegt, über den die aktuell ermittelten Varianzen hinaus gehen müssen, um die nächste Klasse zu aktivieren. Diese Maßnahmen dient zur Stabilisierung der Klasseneinteilung, der sonst bei Meßwerten, die sich mit ihrer Varianz in der Nähe eines Klassenrandes bewegen, ein ständiges Hin- und Herwechseln zwischen den angrenzenden Klassen erfolgen würde. Die Hysteresegrenze liegt jeweils genau in der Mitte zwischen zwei angrenzenden Klassen. Nach der Ermittlung neuer Varianzwerte wird zunächst die Änderung der Varianz σ^2 ermittelt. Liegt eine positive Änderung der Varianz vor, wird der aktuelle Varianzwert mit der Hysteresegrenze der nächst höheren Klasse verglichen. Ist der Varianzwert größer als diese Grenze, so wird der Klassenwert inkrementiert. Bei einer negativen Änderung der Varianz σ^2 wird ein Vergleich mit der nächst tieferen Hysteresegrenze ausgeführt und bei einem positiven Ergebnis der Klassenwert dekrementiert. Die Werte der Hysteresegrenzen werden laufend abhängig von der Fahrgeschwindigkeit v neu ermittelt. Das aktuell vorliegende physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche wird als Klasse k0–k9 abgespeichert und kann für eine spätere Wellerverarbeitung verwendet werden.

Bezugszeichenliste

- 1 Radachse
- 2 Radsensor
- 3 Rad
- 5 Schlagloch
- 6 Fahrbahn
- 7a, 7b Schlagleisten
- v_{rad} Radumdrehungsgeschwindigkeit
- v_{filt} hochpaßgefilterte Radumdrehungsgeschwindigkeit
- σ^2 Varianzverlauf
- 50 k0–k9 Profilkasse

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung des physikalischen Profils einer Fahrbahnoberfläche während der Bewegung eines Kraftfahrzeuges auf dieser Fahrbahnoberfläche, bei dem mindestens einem Rad des Kraftfahrzeuges ein Radsensor zur Erfassung von Radbewegungsparametern zugeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß Amplitudenschwankungen der Radbewegungsparameter, insbesondere der Radumdrehungsgeschwindigkeit (v_{rad}) als Maß für das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) ausgewertet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Radumdrehungsgeschwindigkeit (v_{rad}) mindestens eines der nicht angetriebenen Räder (3) gemessen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenz der Radumdrehungsgeschwindigkeiten (v_{rad}) zwischen der Vorder- und der Hinterachse mindestens einer Fahrzeugseite ausgewertet wird. 5

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Radumdrehungsgeschwindigkeit (v_{rad}) einer Hochpaßfilterung unterzogen und aus dem gefilterten Frequenzsignal (v_{Filt}) der Varianzverlauf (σ^2) als Maß für das vertikale Profil der Fahrbahnoberfläche (6) ermittelt wird. 10

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Varianzen des Varianzverlaufs (σ^2) mit einem abgespeicherten, fahrgeschwindigkeitsabhängigen Kennfeld zur Bestimmung des physikalischen Profils der Fahrbahnoberfläche (6) verglichen werden. 15

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Wertebereich, den die einzelnen Varianzen (σ^2) annehmen können, in ein bestimmtes physikalisches Profil der Fahrbahnoberfläche (6) kennzeichnende Klassen (k_0 — k_9) eingeteilt wird. 20

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das ermittelte physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) als Profilkasse (k_0 — k_9) angezeigt wird. 25

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das ermittelte momentane physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) einer automatischen Geschwindigkeitsregelung des Kraftfahrzeuges zugeführt wird. 30

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) abgespeichert und einem Navigationssystem zur Verfügung gestellt wird. 35

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das aktuelle physikalische Profil der Fahrbahnoberfläche (6) einer Fahrwerksregelung zugeführt wird. 40

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

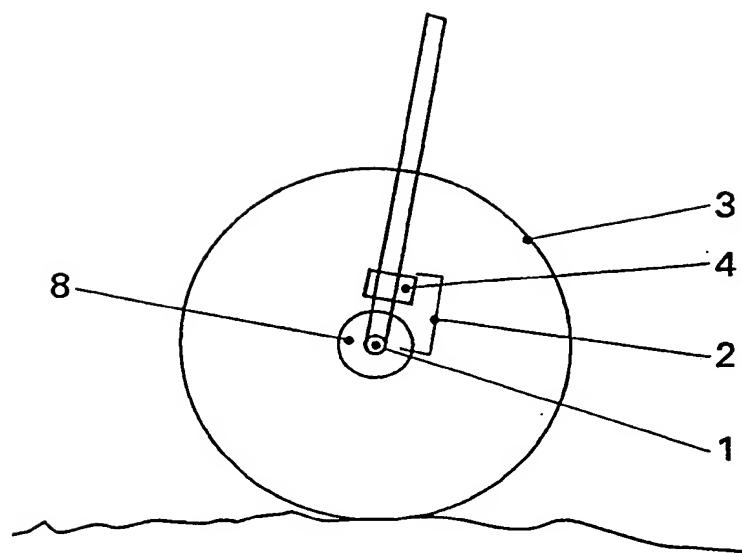


FIG 1

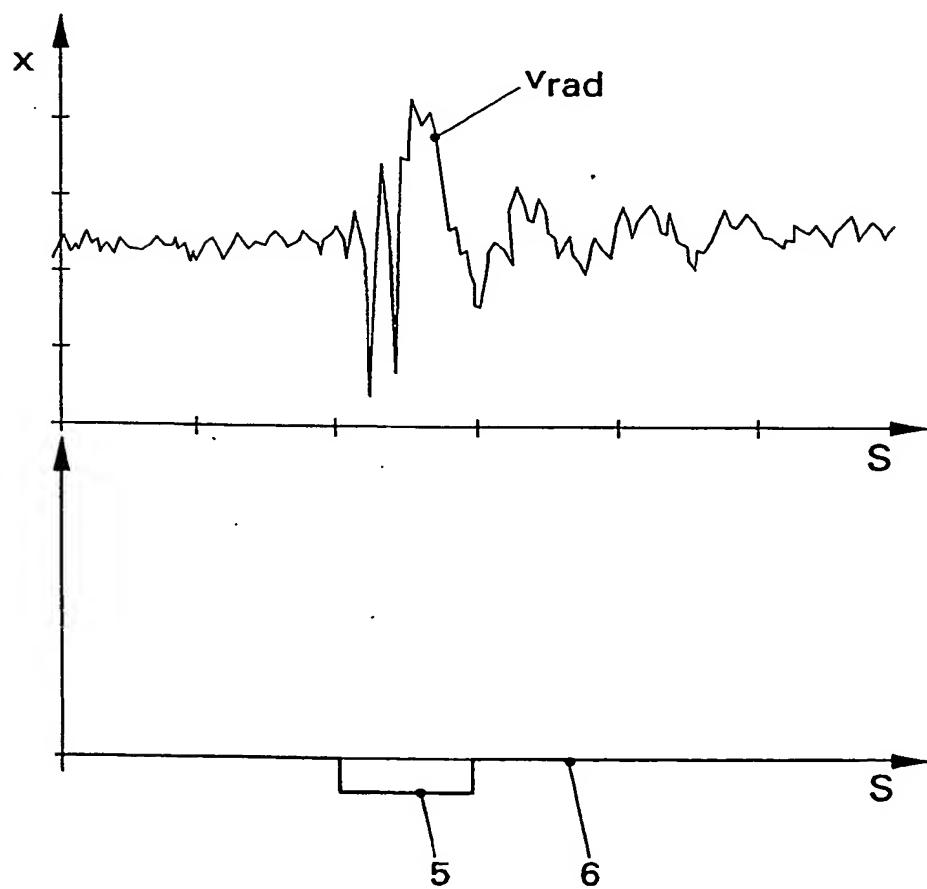


FIG 2

602 016/500

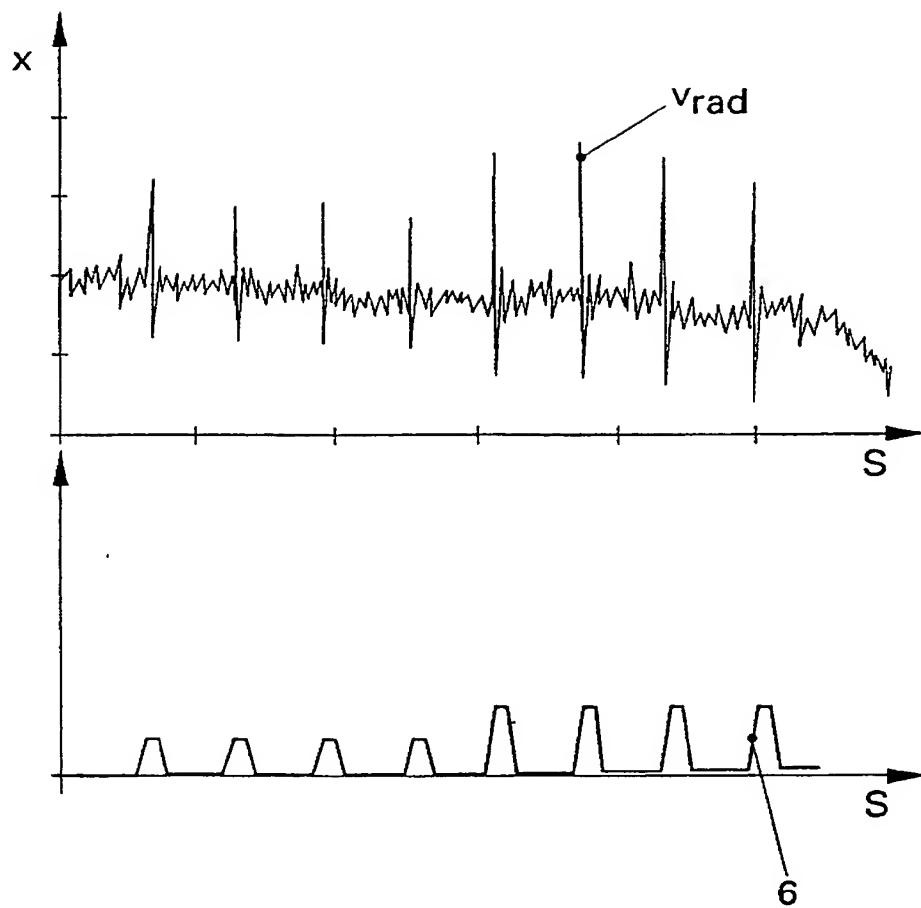


FIG 3

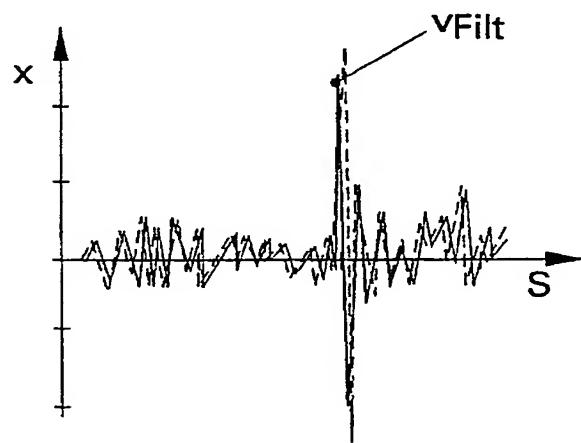


FIG 4

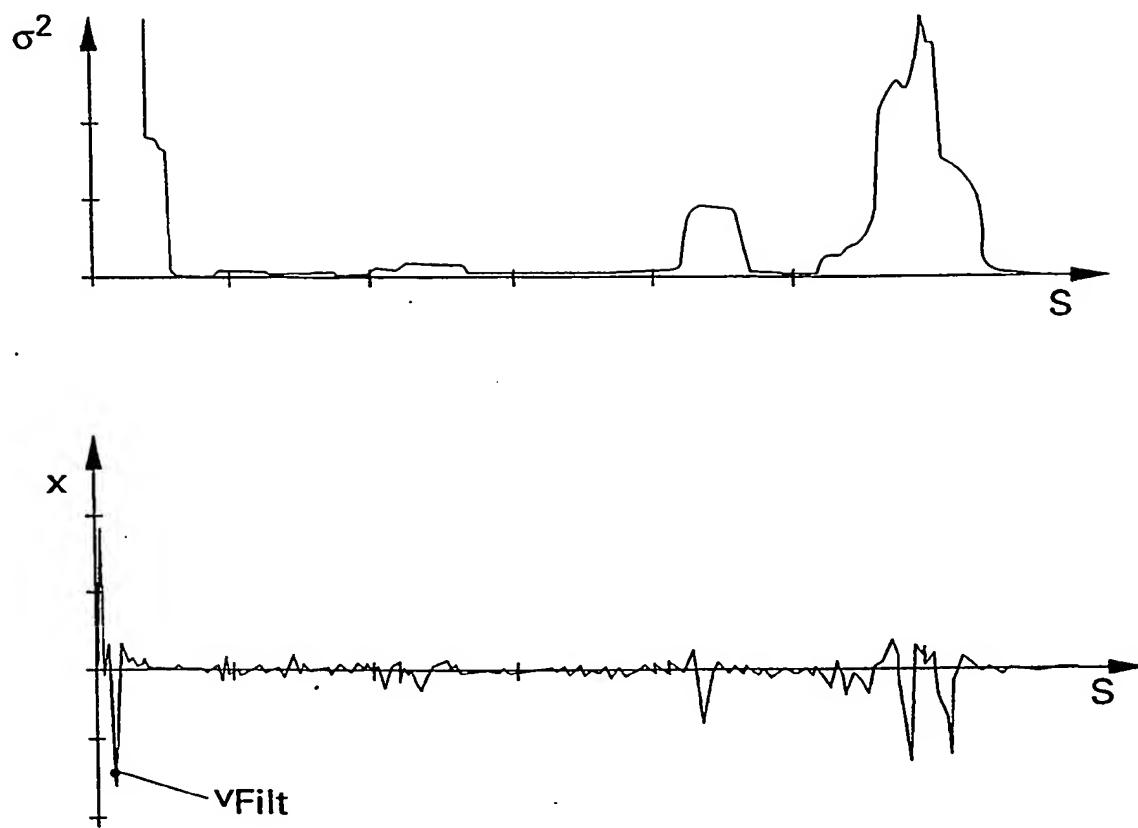


FIG 5

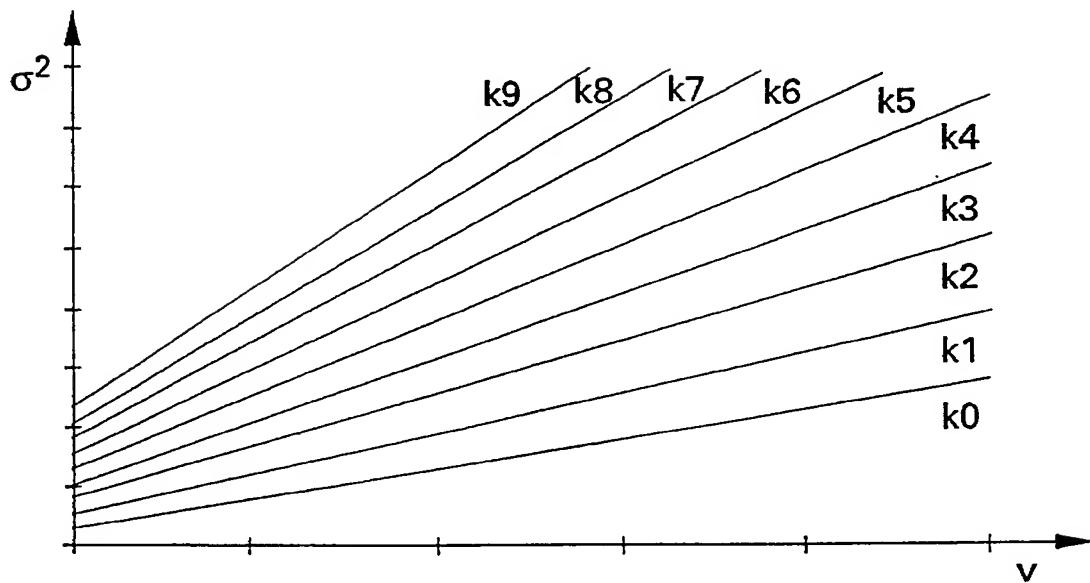


FIG 6

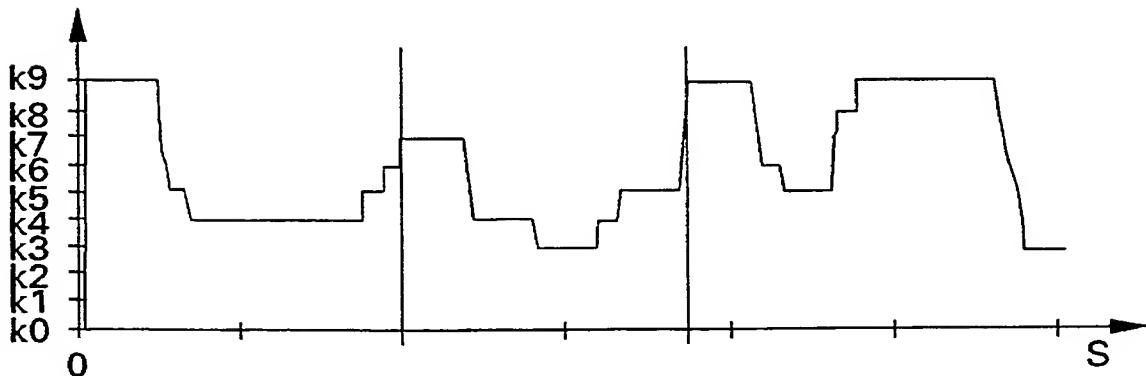


FIG 7